

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-012454

(43)Date of publication of application : 14.01.2000

(51)Int.Cl.

H01L 21/027
G03F 7/20

(21)Application number : 10-193581

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 25.06.1998

(72)Inventor : KOJIMA SHINICHI

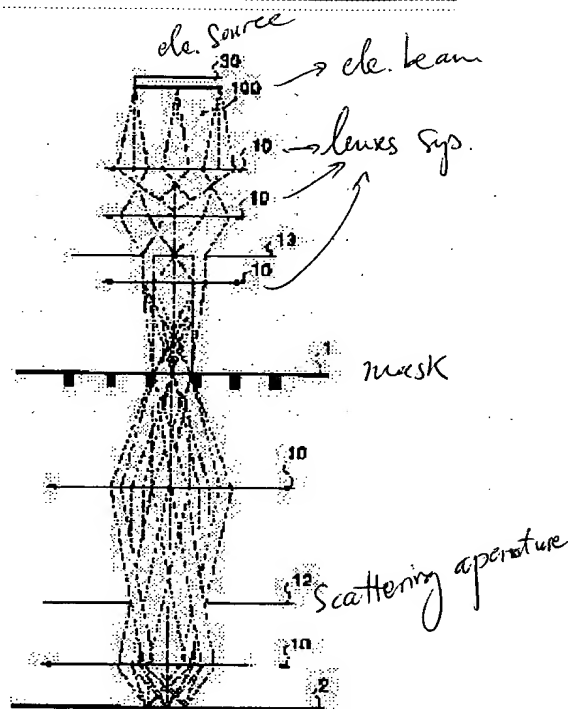
(54) ELECTRON BEAM EXPOSURE APPARATUS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an electron beam exposure apparatus which reliably achieves high resolution, while realizing high throughput using large-current electron beams.

SOLUTION: After passing a lens system 10, an electron beam 100 emitted from an electron beam source 30 has its open half angle restricted to a range equal to or greater than a given value or equal to or smaller than another given value by a zonal illumination aperture 11.

The electron beam illuminates a mask 1, forming its image on a photosensitive substrate 2. A scattering aperture 12 is provided midway for removing scattered beams. A minimum angle $\alpha_{\text{mask-min}}$ and a maximum angle $\alpha_{\text{mask-max}}$ of the distribution of the angle of the electron beams incident on the mask surface with respect to the center axis of the lens (open half-angle) lies in the range of 1.5 [mrad] to 3 [mrad] and are restricted so as to satisfy the relationship $|\alpha_{\text{mask-max}} - \alpha_{\text{mask-min}}| \leq 0.75$ [mrad].



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-12454
(P2000-12454A)

(43) 公開日 平成12年1月14日 (2000.1.14)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード [*] (参考)
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 4 1 A 2 H 0 9 7
G 0 3 F 7/20	5 0 4	G 0 3 F 7/20	5 0 4 5 F 0 5 6
		H 0 1 L 21/30	5 4 1 S

審査請求 未請求 請求項の数 2 F D (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平10-193581

(22) 出願日 平成10年6月25日 (1998. 6. 25)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 小島 真一

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(74) 代理人 100094846

弁理士 細江 利昭

Fターム(参考) 2H097 BA01 BB03 CA16 EA02 EA03
GB01 LA10

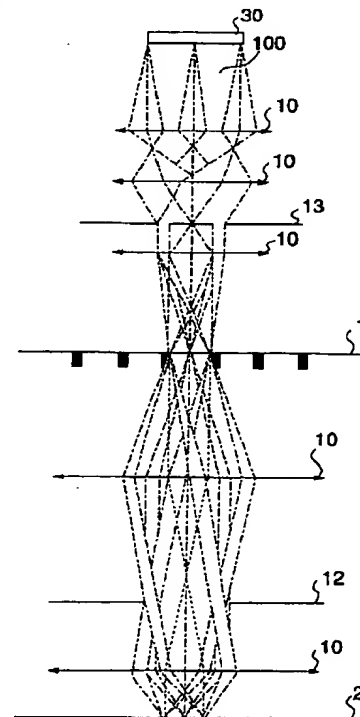
5F056 AA07 BA01 BA05 CB05 CC14
CD18 EA04

(54) 【発明の名称】 電子線露光装置

(57) 【要約】

【課題】 大電流の電子線を用いて高スループット化を実現しながら、さらに高解像度化を確実に実現できる電子線露光装置を提供する

【解決手段】 電子線源30から放射された電子線は100は、レンズ10系を通過した後、輪帯照明用アパーチャ11により、開き半角を一定以上、一定以下に制限される。そして、マスク1を照明し、その像を感応基板2上に結像する。途中、散乱線を除去するために散乱アパーチャ12が設けられている。マスク面に入射する電子線のレンズ中心軸に対する角度（開き半角）分布の最小角度 $\alpha_{\text{mask-min}}$ と最大角度 $\alpha_{\text{mask-max}}$ が $1.5[\text{mrad}]$ から $3[\text{mrad}]$ の範囲内にあり、かつ、 $|\alpha_{\text{mask-max}} - \alpha_{\text{mask-min}}| \leq 0.75[\text{mrad}]$ の関係を満たすように制限する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 マスク上のパターンを小領域に分割し、各小領域毎に感応基板上に転写する電子線露光装置であって、マスク面に入射する電子線のレンズ中心軸に対する角度分布を適当な範囲に制限することにより空間電荷効果の収差によるぼけの最小径を縮小し、且つ感応基板表面を前記最小径の位置に合わせる方法を有する電子線露光装置において、マスク面に入射する電子線のレンズ中心軸に対する角度（開き半角）分布の最小角度 $\alpha_{\text{mask-min}}$ と最大角度 $\alpha_{\text{mask-max}}$ が $1.5[\text{mrad}]$ から $3[\text{mrad}]$ の範囲内にあり、かつ、 $|\alpha_{\text{mask-max}} - \alpha_{\text{mask-min}}|$

$$A \cdot L^a \cdot (I_{\text{illum}}/4)^b / \{V^c \cdot (\alpha_{\text{wafer-max}})^d\} \leq 40 - 2.5 \cdot (\alpha_{\text{wafer-max}} - 10) \quad [\text{nm}] \quad \dots(1)$$

$$I_{\text{illum}} \geq 70 [\mu\text{A}] \quad \dots(2)$$

$$V \leq 200 [\text{keV}] \quad L \geq 300 [\text{mm}]$$

を満足する電子線投影装置を有する電子線露光装置。但し、ここで A, a, b, c, d は定数で、 $61 \leq A \leq 81$ 、 $1.2 \leq a \leq 1.4$ 、 $0.6 \leq b \leq 0.85$ 、 $1.3 \leq c \leq 1.6$ 、 $0.6 \leq d \leq 0.8$ であり、かつ、前記電子線投影装置の縮小倍率を $1/m$ とするとき、 $\alpha_{\text{wafer-max}} = m \cdot \alpha_{\text{mask-max}}$ である。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、電子線を用いてマスク上のパターンを感応基板上に転写する電子線露光装置に関するものであり、さらに詳しくは、大電流の電子線を用いた場合でも解像度が良好な電子線露光装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 半導体の高集積化が進むにつれ、集積回路の微細化が要求され、これに伴い、露光装置には、より細いパターンを描くために、より高い解像度で描画できることが要求されてきている。その中で、電子線に代表される荷電粒子線による露光装置は、このような要求に応えることができるものとして注目されている。

【0003】 荷電粒子線露光では、予め集積回路の回路パターンを描いてあるマスクを荷電粒子線で照射し、回路パターンをウェハ基板上に転写する。荷電粒子線露光で一度に露光される領域を小領域（サブフィールド）と呼ぶが、一つの小領域には回路パターンの一部が描かれている。マスク上の小領域を順次ウェハ基板上に連結して転写することにより、一個の半導体チップの全回路パターンがウェハ基板上に転写される（たとえば、特開平8-64522号公報参照）。

【0004】 従来の荷電粒子線露光においては、主として集束用の磁気レンズまたは静電レンズから構成される荷電粒子光学系により荷電粒子線を集束させる。従来の荷電粒子線露光装置（電子線露光装置）の例を図5に示す。図5において1はマスク、2は感応基板、10はレンズ、11は円形の開口を有するアパーチャ、12は散乱アパーチャ、30は電子線源、100は電子線であ

$\leq 0.75[\text{mrad}]$ の関係を満たすように制限されていることを特徴とする電子線照明光学系を有する電子線露光装置。

【請求項2】 請求項1に記載の電子線露光装置であって、前記マスク面へ入射する電子線の電流を $I_{\text{illum}} [\mu\text{A}]$ とし、前記マスク面と前記感応基板との距離を $L [\text{mm}]$ とし、前記マスク面へ入射する電子線の加速電圧を $V [\text{keV}]$ とし、前記感応基板面での電子線の開き半角の最大値を $\alpha_{\text{wafer-max}} [\text{mrad}]$ とするとき、次の連立不等式条件

$$\dots(3)$$

る。

【0005】 電子線源30から放射された電子線は100は、レンズ10系を通過した後、円形の開口を有するアパーチャ11により、開き半角を一定以下に制限される。そして、マスク1を照明し、その像を感応基板2上に結像する。途中、散乱線を除くために散乱アパーチャ12が設けられている。

【0006】 このような、マスク上に予め用意されたパターンを感応基板上に転写する電子線を利用した露光装置では、単位時間当たりの処理能力（スループット）を向上させるためにできるだけ大きな電流の電子線を用いるのが望ましい。しかし、電子線露光装置では、使用可能な電流量には制限がある。すなわち、大電流の電子線を用いた場合、隣接又は近傍の電子同士のクーロン反発力による散乱がランダムに生じ、電子の飛行中にこの散乱によって軌道がランダムに乱される結果、感応基板に達するまでには電子線による小領域の像がぼけてしまう。

【0007】 上記クーロン反発力によるぼけ（クーロン効果）を緩和する従来技術としては電子線の開き半角を大きくする方法が知られている。開き半角を大きくすることによって絞り位置での電子線の径が大きくなり、これにより、電子間の距離が大きくなるため、電子間の距離の2乗に反比例するクーロン反発力が弱まる。従って、クーロン反発力によるぼけが小さくなる。この様子を図6に示す。図6において横軸は開き半角、縦軸はぼけの大きさを示す。

【0008】 しかし、開き半角を大きくすると、電子線を集束、偏向するためのレンズ、偏向器による幾何収差が増大するため、図6に示すように幾何収差によるぼけが増大する。従って、開き半角は、図6において前記クーロン反発力によるぼけと前記幾何収差によるぼけからなる総合ぼけが最小になるように決定されるのが一般的である。

【0009】 さらに、上記には考慮されていない効果と

して、空間電荷効果がある。空間電荷効果とは、電子線全体の作る電場が飛行している電子の各々に作用し、レンズ効果を及ぼす効果のことをいう。この空間電荷効果は、通常の静電場による静電レンズと同様に電子線の集束を変化させる作用があり、また電子線像の像面湾曲、歪み等のレンズ収差と同様の収差を引き起こし、前記ランダムな散乱によるぼけとは独立に、電子線像の解像度の悪化を引き起こす。

【0010】また、マスクのパターン開口率の違いによって同じ照明電流量でもマスクを通過する電流量が異なるため、電子線の集束を変化させるレンズ作用により、大電流の電子線で転写される小領域と少電流の電子線で転写される小領域とでは、焦点位置が異なってくる。

【0011】この様子を図7に示す。図7において、2は感応基板、10はレンズである。小電流の場合は、(a)に示すように、レンズ10により感応基板2上に焦点が合っている場合でも、大電流の場合には、(b)に示すように感応基板2上に焦点が合わず、従って何らかの補正が必要となってくる。マスク基板には様々なパターン開口率を持つ小領域が存在し、開口率ごとに電子線の電流が異なるので、この補正は、小領域毎に行う必要がある。

【0012】しかし、照明電流が大電流になるほど、必要な焦点補正の範囲が広くなり、従って、その範囲をカバーでき、かつ高速な動作の可能な焦点補正レンズ系を設計する必要がある。さらに、補正範囲が広がるほど、焦点補正レンズ系自身が発生する収差が問題となるし、また、その範囲を素早く補正するために焦点補正レンズ制御用の電気制御系にも大きな負担がかかるという問題点がある。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】以上説明したように、実際には、電子線露光装置に用いる電子線の開き半角は、レンズや偏向器の幾何収差による制限を受けるためにあまり大きくできない。よって、電子線の電流量は制限されてしまう。従って、従来の技術においては、電子線露光装置において、大電流の電子線を用いて高スループットを得ることと、高解像度を得ることを両立させることは困難であった。

【0014】本発明者は、このような事情に鑑み、大電流の電子線を用いて高スループット化を実現しながら、かつ高解像度化も実現できる電子線露光装置を発明し、特願平10-111357号として特許出願した（以下「先願発明」という）。それは、「マスク上のパターンを小領域に分割し、各小領域毎に感応基板上に転写する電子線露光装置であって、マスク面に入射する電子線のレンズ中心軸に対する角度分布を適当な範囲に制限することにより空間電荷効果の収差によるぼけの最小径を縮小し、且つ感応基板表面を前記最小径の位置に合わせる方法を有する電子線露光装置」である。これにより、大

電流の電子線を使用しながら、解像度が100nm以下である電子線露光装置が実現できた。

【0015】先願発明の実施の形態の例を図1に示す。図1において1はマスク、2は感応基板、10はレンズ、12は散乱アパーチャ、13は細い輪帯照明用アパーチャ、30は電子線源、100は電子線である。

【0016】電子線源30から放射された電子線は100は、レンズ10系を通過した後、輪帯照明用アパーチャ13により、開き半角を一定以上、一定以下に制限される。そして、マスク1を照明し、その像を感応基板2上に結像する。途中、散乱線を除くために散乱アパーチャ12が設けられている。

【0017】図1と図5を比較すると分かるように、先願発明の骨子は、輪帯照明用アパーチャ13により、開き半角を一定以上、一定以下に制限したことにより、これにより下記の効果が得られる。

【0018】(1) 比較的細い輪帯照明を用いた投影用電子光学系を用いることにより、照射される電子線の開き角度分布の大きい部分の電子線のみを使用する結果、絞り面付近における電子間の平均的相対距離が増大し、任意の電子に加わる平均的なクーロン反発力が小さくなるため、従来技術の電子線露光装置に比較して、クーロン反発力によるぼけが減少する。

【0019】(2) 感応基板表面に入射する電子線には、開き半角が零付近の電子線は存在せず、開き半角が大きい電子だけなので、空間電荷効果の抑制効果が著しい。すなわち、まず、上記空間電荷効果の一種である焦点位置のずれが、図2(a)に示すように、従来技術に比較して、有意に小さくなる。すなわち、図2(a)は、図7(b)の場合と同じ電流量の電子線を使用した場合の焦点位置のずれを示すものであるが、図7(b)に比較してずれ量が少なくなっている。このずれは、図2(b)に示すように、焦点補正レンズ10'によって補正するが、電子線の焦点ずれの補正範囲が小さくなるため、焦点補正レンズ10'系の設計が簡単化され、また焦点補正光学系の制御系の構築も簡単化されるメリットがある。

【0020】さらに、上記空間電荷効果による小領域像面の湾曲効果が抑制されるメリットがある。この様子を図3に示す。図3は、感応基板2の位置（高さ）を変化させた場合の、(a)に示す分割領域1～6における、空間電荷効果によるぼけの度合を示すもので、(b)は輪帯照明用アパーチャ13を有しない従来技術の場合、(c)は輪帯照明用アパーチャ13を有する先願発明の場合を示す。先願発明においては、どの分割領域1～6についても、ぼけが最小となる感応基板2の位置が近くにあるので、その位置に感応基板2を置くことにより、全ての小領域についてぼけを小さくすることができる。

【0021】上記空間電荷効果による小領域像面の湾曲効果は、通常の像補正方法では補正できない効果である。この効果により大電流時における最適解像の像面位

置が小領域内で異なり、解像度の悪化を生じる。先願発明により、大電流の電子線による露光時でも上記空間電荷効果による小領域像面の湾曲効果が抑制されるため、小領域内でのパターン像の質の均一性の良い、より解像度の高い電子線露光装置の製造が可能になる。

【0022】先願発明には、さらに、上記空間電荷効果による小領域像の歪みが、抑制されるメリットがある。上記空間電荷効果による小領域像の歪みは、通常の像補正方法では補正が困難な形状に変形する場合がある。この効果により大電流時における隣接小領域間にまたがるパターンのつなぎ精度の悪化が生じる。また、多層に形成される回路パターンの場合、各層間のパターンの重ね合わせ精度も悪化する。しかし先願発明により、大電流な電子線による露光時でも、上記空間電荷効果による小領域像の歪み効果が抑制されるため、より解像度の高い電子線露光装置の供給が可能になる。

【0023】本発明は、この先願発明を改良し、大電流の電子線を用いて高スループット化を実現しながら、さらに高解像度化（解像度90nm以下）を確実に実現できる電子線露光装置を提供することを課題とする。

【0024】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するための第1の手段は、マスク上のパターンを小領域に分割し、各小領域毎に感応基板上に転写する電子線露光装置であって、マスク面に入射する電子線のレンズ中心軸に対する角度分布を適当な範囲に制限することにより空間電荷効果の収差によるぼけの最小径を縮小し、且つ感応基板表面を前記最小径の位置に合わせる方法を有する電子線露光装置において、マスク面に入射する電子線のレンズ中心軸に対する角度（開き半角）分布の最小角度 $\alpha_{\text{mask-min}}$ と最大角度 $\alpha_{\text{mask-max}}$ が1.5[mrad]から3[mrad]の範囲内にあり、かつ、 $|\alpha_{\text{mask-max}} - \alpha_{\text{mask-min}}| \leq 0.75[\text{mrad}]$ の関係を満たすように制限されていることを特徴とする電子線照明光学系を有する電子線露光装置（請求項1）である。

【0025】本手段は、先願発明において、最小角度 $\alpha_{\text{mask-min}}$ と最大角度 $\alpha_{\text{mask-max}}$ 、 $|\alpha_{\text{mask-max}} - \alpha_{\text{mask-min}}|$ の範囲を数値限定したものである。電子線のレンズ中心軸に対する角度分布の最小角度 $\alpha_{\text{mask-min}}$

$$A \cdot L^a \cdot (I_{\text{illumi}}/4)^b / \{V^c \cdot (\alpha_{\text{wafer-max}})^d\} \leq 40 - 2.5 \cdot (\alpha_{\text{wafer-max}} - 10) \quad [\text{nm}] \quad \dots(1)$$

$$I_{\text{illumi}} \geq 70 [\mu\text{A}] \quad \dots(2)$$

$$V \leq 200 [\text{keV}] \quad L \geq 300 [\text{mm}] \quad \dots(3)$$

を満足する電子線投影装置を有する電子線露光装置（請求項2）である。但し、ここでA, a, b, c, dは定数で、 $61 \leq A \leq 81$, $1.2 \leq a \leq 1.4$, $0.6 \leq b \leq 0.85$, $1.3 \leq c \leq 1.6$, $0.6 \leq d \leq 0.8$ であり、かつ、前記電子線投影装置の縮小倍率を1/mとすると、 $\alpha_{\text{wafer-max}} = m \cdot \alpha_{\text{mask-max}}$ である。

【0030】このうち、マスク面へ入射する電子線の電

の最小値を1.5[mrad]に限定するのは、これ未満となると、電子線の角度分布のうち、中心部分の電子線の使用率が高くなり、従って輪帯照明の効果が低下し、空間電荷効果によるぼけが増大することにより、目標解像度90nmの達成が困難になるからである。又、電子線のレンズ中心軸に対する角度分布の最小角度 $\alpha_{\text{mask-min}}$ の最大値を3[mrad]に限定するのは、この値を超えると、投影レンズ系の幾何収差が大きくなって、クーロン効果は抑制できても、幾何収差が大きいために目標解像度90nmの達成が困難になるからである。

【0026】電子線のレンズ中心軸に対する角度分布の最大角度 $\alpha_{\text{mask-max}}$ の最小値を1.5[mrad]に限定するのは、これ未満となると、電子線の角度分布の最大値が小さくなり過ぎ、絞り付近での電子線の径が小さくなって、ランダムな散乱によるクーロン効果ボケが増大することにより、目標解像度90nmの達成が困難になるからである。又、電子線のレンズ中心軸に対する角度分布の最大角度 $\alpha_{\text{mask-max}}$ の最大値を3[mrad]に限定するのは、この値を超えると、投影レンズ系の幾何収差が大きくなって、クーロン効果は抑制できても、幾何収差が大きいために目標解像度90nmの達成が困難になるからである。

【0027】 $|\alpha_{\text{mask-max}} - \alpha_{\text{mask-min}}|$ を0.75[mrad]

以下に限定するのは、この値を超えると、電子線のレンズ中心軸に対する角度分布の最大角度と最小角度の差が大きくなり過ぎ、輪帯照明領域が太くなり過ぎるため、輪帯照明の効果が低下し、それによって空間電荷効果によるぼけが増大して、目標解像度90nmの達成が困難になるからである。

【0028】前記各項目を所定の範囲に制限することにより、最も有効にクーロン効果と空間電荷効果を低減し、かつ、レンズ、偏向器による幾何収差を小さいままに抑えることができる。

【0029】前記課題を解決するための第2の手段は、前記第1の手段であって、前記マスク面へ入射する電子線の電流を $I_{\text{illumi}} [\mu\text{A}]$ とし、前記マスク面と前記感応基板との距離をL[mm]とし、前記マスク面へ入射する電子線の加速電圧をV[keV]とし、前記感応基板面での電子線の開き半角の最大値を $\alpha_{\text{wafer-max}} [\text{mrad}]$ とするとき、次の連立不等式条件

$$A \cdot L^a \cdot (I_{\text{illumi}}/4)^b / \{V^c \cdot (\alpha_{\text{wafer-max}})^d\} \leq 40 - 2.5 \cdot (\alpha_{\text{wafer-max}} - 10) \quad [\text{nm}] \quad \dots(1)$$

$$I_{\text{illumi}} \geq 70 [\mu\text{A}] \quad \dots(2)$$

$$V \leq 200 [\text{keV}] \quad L \geq 300 [\text{mm}] \quad \dots(3)$$

流 I_{illumi} を70[μA]以上としているのは、本発明の対象とする電子線露光装置は、これ以上の電流値を有するものに限っているためである。

【0031】また、加速電圧Vは、高いほどクーロン反発力によるぼけが小さくなるため好ましいが、200[keV]を超えると、感応基板上に塗布されている感光剤（レジストと呼ばれる）の感度が極端に低下し、逆に感応基板

処理能力が低下するため、上限を200[keV]に限定する。

【0032】また、マスク感応基板間の距離Lは短いほど上記ぼけが小さくなるが、L=300mm以下の場合、電子線を集束させる磁気レンズに流す電流が大きくなりす

$$A \cdot L^a \cdot (I_{\text{illumi}}/4)^b / \{V \cdot (\alpha_{\text{wafer-max}})^d\} \leq 40 - 2.5 \cdot (\alpha_{\text{wafer-max}} - 10) \quad [\text{nm}] \quad \dots (1)$$

が成り立つようにしている。式(1)の左辺はクーロン反発力によるランダムな散乱によるぼけの量を表し、それが右辺以下になるように制限している。右辺が開き半角の最大値 $\alpha_{\text{wafer-max}}$ の関数になっているのは、開き半角の最大値が変化するとレンズ、偏向器による幾何収差が増大するため、同等の性能を得るためにはクーロン効果によるぼけをその増加分だけ減らす必要があるためである。式(1)を満たすことにより、クーロン反発力によるランダムな散乱によるぼけの量は、 $\alpha_{\text{wafer-max}}$ の値に依存して、35~50nm程度にまで減少する。

【0034】

【実施例】以下、本発明の実施の形態の例を図を用いて説明する。本発明の実施の形態の例においては、装置の構成は図1に示した先願発明の実施の形態と同じであるので、その説明を省略する。図4は、マスク面に入射する電子線のレンズ中心軸に対する角度分布の最大角度 $\alpha_{\text{mask-max}}$ と像のぼけの関係を示す図である。図4において各実線は本発明（および先願発明）に関するものであり、各破線は従来技術、すなわち図5に示すように円形開口のアーチャー11を有する電子線露光装置に関するものである。

【0035】ぼけの要因には、ランダムな散乱によるクーロン効果ぼけ、幾何収差によるぼけの他に、空間電荷効果によるぼけがある。これら3つのぼけの総和を総合ぼけとして示している。総合ぼけは、 $\alpha_{\text{mask-max}}$ が1.5[mrad]から3[mrad]の範囲内にあるときに最小となっている。なお、このとき、 $\alpha_{\text{mask-min}} = 0.8 \cdot \alpha_{\text{mask-max}}$ としている。

【0036】次に、本発明の条件を満たす設計条件により9通りの実施例と、本発明の条件を満たさない3通りの比較例を製造して比較を行った。

【0037】各実施例と各比較例の条件を以下に示す。

【実施例1】L = 500[mm], $I_{\text{illumi}}/4 = 20[\text{uA}]$, V = 100[keV], $\alpha_{\text{wafer-min}} = 8[\text{mrad}]$, $\alpha_{\text{wafer-max}} = 10[\text{mrad}]$ のマスク像投影用電子光学系をもつ電子線露光装置。

【実施例2】L = 500[mm], $I_{\text{illumi}}/4 = 20[\text{uA}]$, V = 100[keV], $\alpha_{\text{wafer-min}} = 7[\text{mrad}]$, $\alpha_{\text{wafer-max}} = 9[\text{mrad}]$ のマスク像投影用電子光学系をもつ電子線露光装置。

【実施例3】L = 400[mm], $I_{\text{illumi}}/4 = 25[\text{uA}]$, V = 100[keV], $\alpha_{\text{wafer-min}} = 9.6[\text{mrad}]$, $\alpha_{\text{wafer-max}} = 12[\text{mrad}]$ のマスク像投影用電子光学系をもつ電子線露光装置。

ぎ、発熱が大きすぎる問題があるため望ましくない。よって、Lは300mm以上に限定する。

【0033】さらに、本手段においては、

【0038】【実施例4】L = 500[mm], $I_{\text{illumi}}/4 = 25[\text{uA}]$, V = 100[keV], $\alpha_{\text{wafer-min}} = 8[\text{mrad}]$, $\alpha_{\text{wafer-max}} = 10[\text{mrad}]$ のマスク像投影用電子光学系をもつ電子線露光装置。

【実施例5】L = 400[mm], $I_{\text{illumi}}/4 = 25[\text{uA}]$, V = 100[keV], $\alpha_{\text{wafer-min}} = 7[\text{mrad}]$, $\alpha_{\text{wafer-max}} = 9[\text{mrad}]$ のマスク像投影用電子光学系をもつ電子線露光装置。

【実施例6】L = 450[mm], $I_{\text{illumi}}/4 = 22.5[\text{uA}]$, V = 100[keV], $\alpha_{\text{wafer-min}} = 7[\text{mrad}]$, $\alpha_{\text{wafer-max}} = 9[\text{mrad}]$ のマスク像投影用電子光学系をもつ電子線露光装置。

【0039】【実施例7】L = 450[mm], $I_{\text{illumi}}/4 = 22.5[\text{uA}]$, V = 100[keV], $\alpha_{\text{wafer-min}} = 8[\text{mrad}]$, $\alpha_{\text{wafer-max}} = 10[\text{mrad}]$ のマスク像投影用電子光学系をもつ電子線露光装置。

【実施例8】L = 500[mm], $I_{\text{illumi}}/4 = 25[\text{uA}]$, V = 120[keV], $\alpha_{\text{wafer-min}} = 8[\text{mrad}]$, $\alpha_{\text{wafer-max}} = 10[\text{mrad}]$ のマスク像投影用電子光学系をもつ電子線露光装置。

【実施例9】L = 500[mm], $I_{\text{illumi}}/4 = 25[\text{uA}]$, V = 100[keV], $\alpha_{\text{wafer-min}} = 7[\text{mrad}]$, $\alpha_{\text{wafer-max}} = 9[\text{mrad}]$ のマスク像投影用電子光学系をもつ電子線露光装置。

【0040】【比較例1】L = 600[mm], $I_{\text{illumi}}/4 = 25[\text{uA}]$, V = 100[keV], $\alpha_{\text{wafer-min}} = 0[\text{mrad}]$, $\alpha_{\text{wafer-max}} = 6[\text{mrad}]$ のマスク像投影用電子光学系をもつ電子線露光装置。

【比較例2】L = 500[mm], $I_{\text{illumi}}/4 = 25[\text{uA}]$, V = 100[keV], $\alpha_{\text{wafer-min}} = 0[\text{mrad}]$, $\alpha_{\text{wafer-max}} = 6[\text{mrad}]$ のマスク像投影用電子光学系をもつ電子線露光装置。

【比較例3】L = 500[mm], $I_{\text{illumi}}/4 = 25[\text{uA}]$, V = 100[keV], $\alpha_{\text{wafer-min}} = 4[\text{mrad}]$, $\alpha_{\text{wafer-max}} = 6[\text{mrad}]$ のマスク像投影用電子光学系をもつ電子線露光装置。

【0041】これら実施例及び比較例は、一回の電子線露光範囲（小領域、と呼ばれている）の感応基板上での大きさが範囲200um角から300um角の正方形かそれに近い長方形で、転写倍率はほぼ0.25縮小倍率である電子線露光装置を想定したものである。

【0042】比較例1、2は従来技術に関するものであり、比較例3は輪帯照明を用いたが本発明で示される範囲外の開き半角の電子線照明装置を用いた場合である。

なお、各比較例は、実施例と同様の電流量、マスク-感応基板面間の距離、加速電圧等を有する。

【0043】表1にこれらの場合のクーロン反発力による散乱によるぼけ、空間電荷効果によるぼけ、総合のクーロン効果によるぼけ（＝前記2つの自乗和の平方根）、焦点ずれ（最小ぼけ面の位置）をそれぞれ示した。

【0044】全ての実施例は、クーロン効果による総合ぼけが65nm以下であり、これにレンズ収差、偏向収差が60nmあっても、自乗和の平方根でぼけを見積もると、 $(65^2+60^2)^{1/2} = 88\text{nm}$ であって、実施例の各電流値に対して、十分に90nmを解像できる電子線露光装置とすることが可能である。

【0045】これに対して、比較例では、本発明と同等

の電流を用いてマスクパターンを転写しようとする、表1から分かるように、クーロン効果による総合ぼけが大幅に悪化する。これにレンズ、偏向器による幾何収差の約60nmを加味すると、解像度は90nmを越えてしまい、従って目的の解像度の電子線露光装置は得られない。

【0046】なお、比較例3においては、輪帯アパーチャが設けられているため、比較例1、比較例2より良い結果が得られている。しかし、最大開き半角が6mradであるので、ランダムな散乱によるぼけが小さくならず、しかも輪帯が4-6mradと太いため、空間電荷効果の抑制がわずかであるため、本発明の実施例に対してはぼけの量が大きくなっている。

【0047】

【表1】

	$I_{\text{illumi}}/4$ (μA)	L (mm)	最大開き 半角(mrad)	最小開き 半角(mrad)	V (keV)	クーロン力による 散乱によるぼけ (nm)	空間電荷 効果 (nm)	総合クーロン効果 によるぼけ (nm)	最小ぼけ面 の位置(μm)
実施例1	20	500	10	8	100	40	10	50	10.7
実施例2	20	500	9	7	100	42	19	61	11
実施例3	25	400	12	9.6	100	32	11	43	7
実施例4	25	500	10	8	100	35	12	47	10
実施例5	25	400	9	7	100	35	15	50	11
実施例6	22.5	450	9	7	100	40	20	60	12.2
実施例7	22.5	450	10	8	100	40	15	55	10.2
実施例8	25	500	10	8	120	35	20	55	15
実施例9	25	500	9	7	100	45	20	65	13
比較例1	25	600	8	0	100	100	50	150	70
比較例2	25	500	6	0	100	79	40	119	63
比較例3	25	500	6	4	100	79	30	109	40

【0048】

【発明の効果】以上説明したように、本発明においては、マスク面に入射する電子線のレンズ中心軸に対する角度分布を適当な範囲に制限することにより空間電荷効果の収差によるぼけの最小径を縮小し、且つ感応基板表面を前記最小径の位置に合わせる方法を有する電子線露光装置において、マスク面に入射する電子線のレンズ中心軸に対する角度分布の最小角度 $\alpha_{\text{mask-min}}$ と最大角度 $\alpha_{\text{mask-max}}$ が1.5[mrad]から3[mrad]の範囲内にあり、かつ、 $|\alpha_{\text{mask-max}} - \alpha_{\text{mask-min}}| \leq 0.75[\text{mrad}]$ の関係を満たすように制限されているので、70[μA]を超えるような大電流の電子線を用いても、クーロン効果や空間電荷効果によるぼけ量が小さく、解像度が90nm以下の電子線露光装置を得ることができる。

【0049】加えて、前記マスク面へ入射する電子線の電流 I_{illumi} 、前記マスク面と前記感応基板との距離L、前記マスク面へ入射する電子線の加速電圧V、前記感応基板面での電子線の開き半角の最大値 $\alpha_{\text{wafer-max}}$ の間に所定の関係を持たせることにより、更に解像度を上げることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明及び先願発明の実施の形態の例である電子線露光装置の概要を示す図である。

【図2】本発明における焦点位置のずれとその補正方法を示す図である。

【図3】空間電荷効果による小領域におけるぼけの量を示す図である。

【図4】本発明の実施の形態における開き半角 $\alpha_{\text{wafer-max}}$ とぼけの関係を示す図である。

【図5】従来技術における電子線露光装置の概要を示す図である。

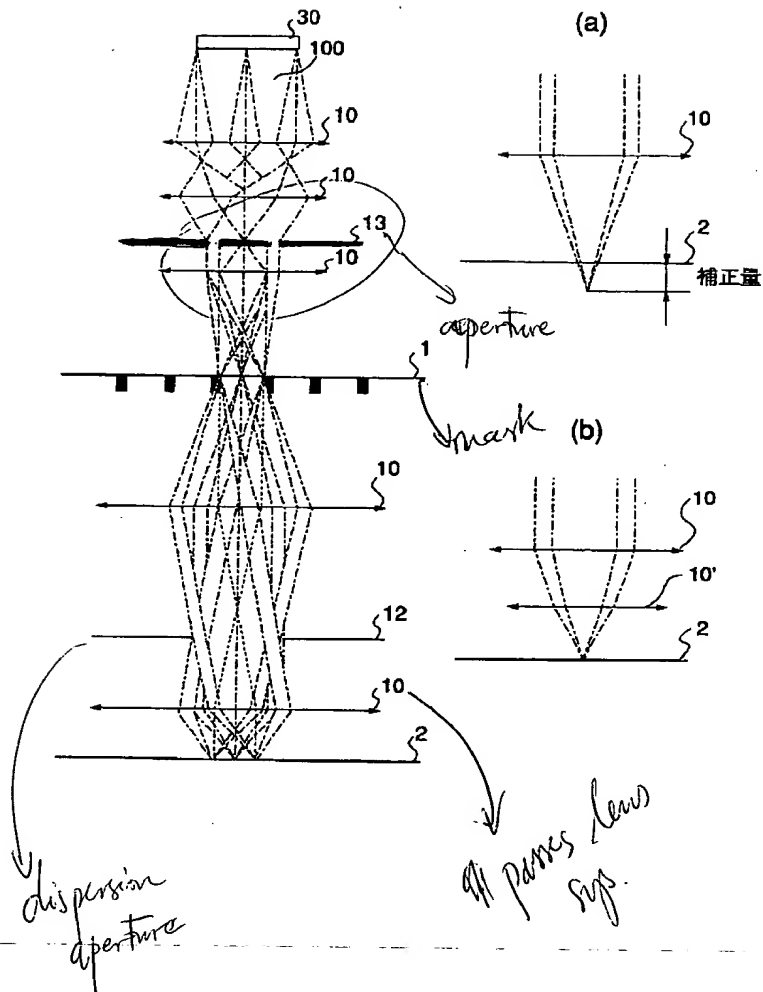
【図6】従来の電子線露光装置における開き半角とぼけの関係を示す図である。

【図7】従来の電子線露光装置における焦点位置のずれを示す図である。

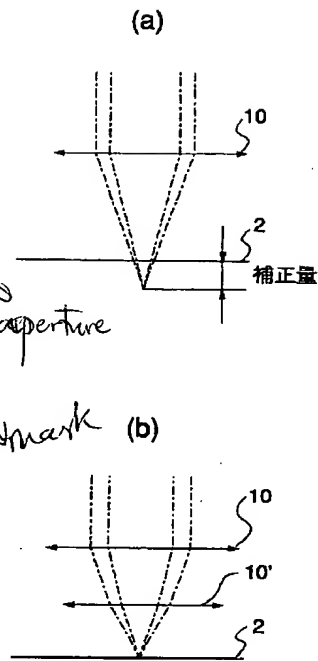
【符号の説明】

- 1 マスク
- 2 感応基板
- 10 レンズ
- 10' 補正用レンズ
- 11 従来のアパーチャ
- 12 散乱アパーチャ
- 13 細い輪帯照明用アパーチャー
- 30 電子線源
- 100 電子線

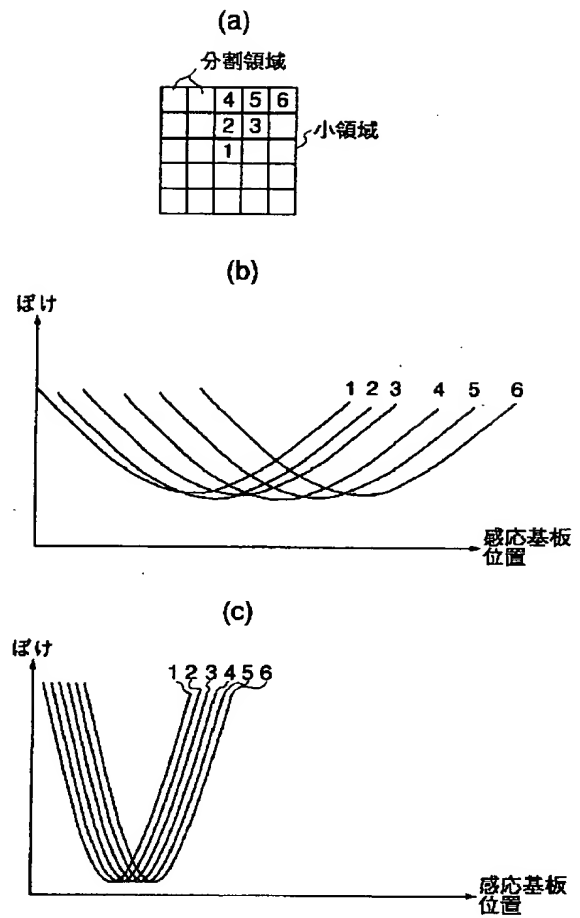
【図 1】



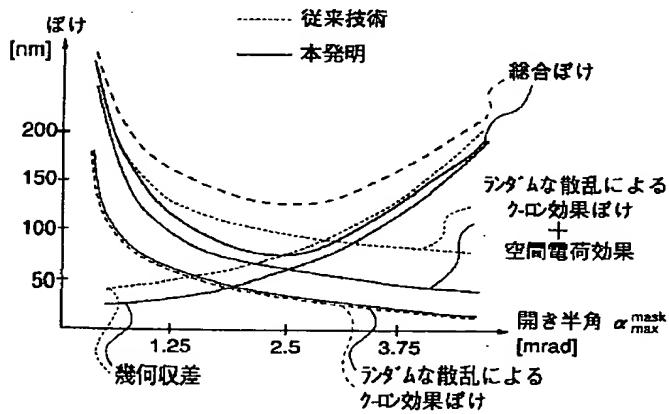
【図 2】



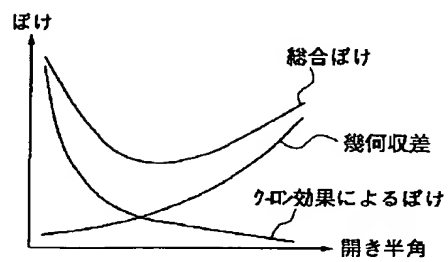
【図 3】



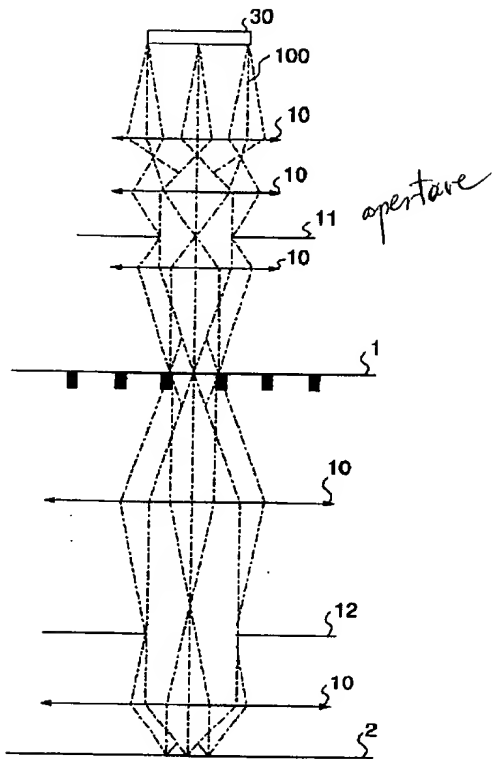
【図 4】



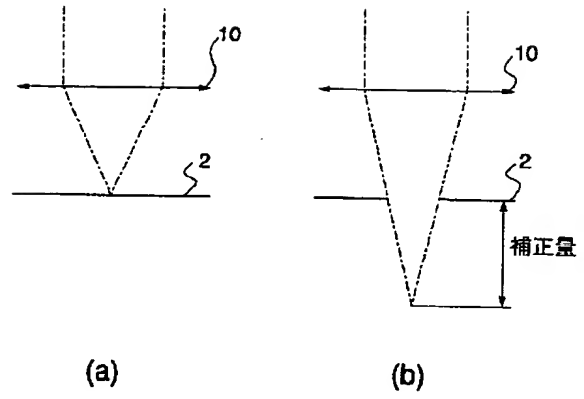
【図 6】



【図 5】



【図 7】



* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] About the electron-beam-lithography equipment which imprints the pattern on a mask to an induction substrate using an electron ray, in more detail, this invention relates to electron-beam-lithography equipment with good resolution, even when the electron ray of a high current is used.

[0002]

[Description of the Prior Art] Detailed-ization of an integrated circuit is required, and in order to draw a narrow pattern on an aligner more in connection with this, to be able to draw in higher resolution has been demanded as high integration of a semiconductor progresses. The aligner by the charged-particle line represented by the electron ray in it attracts attention as what can meet such a demand.

[0003] In charged-particle line exposure, the mask which has drawn the circuit pattern of an integrated circuit beforehand is irradiated by the charged-particle line, and a circuit pattern is imprinted on a wafer substrate. Although the field exposed at once by charged-particle line exposure is called small field (subfield), some circuit patterns are drawn on one small field. By connecting the small field on a mask on a wafer substrate one by one, and imprinting it, all the circuit patterns of the semiconductor chip of a piece are imprinted on a wafer substrate (for example, refer to JP,8-64522,A).

[0004] In the conventional charged-particle line exposure, a charged-particle line is converged with the charged-particle optical system which mainly consists of the magnetic lenses or electrostatic lenses for convergence. The example of the conventional charged-particle line aligner (electron-beam-lithography equipment) is shown in drawing 5. As for dispersion aperture and 30, the aperture in which 1 has a mask and 2 has an induction substrate and opening with 10 [circular / a lens and 11] in drawing 5, and 12 are / the source of an electron ray and 100 / electron rays.

[0005] The aperture 11 in which the electron ray emitted from the source 30 of an electron ray has circular opening after 100 passes lens 10 system restricts aperture half size to below fixed. And a mask 1 is illuminated and image formation of the image is carried out on the induction substrate 2. The middle, in order to remove the scattered radiation, the dispersion aperture 12 is formed.

[0006] In the aligner using the electron ray which imprints such a pattern beforehand prepared on the mask on an induction substrate, in order to raise the throughput per unit time (throughput), it is desirable to use the electron ray of the biggest possible current. However, with electron-beam-lithography equipment, the usable amount of current has a limit. That is, when the electron ray of a high current is used, as a result of contiguity or dispersion by the Coulomb repulsion of nearby electrons arising at random and an orbit's being disturbed at random by this dispersion during an electronic flight, by the time it reaches an induction substrate, the image of the small field by the electron ray will fade.

[0007] The method of enlarging the aperture half size of an electron ray as conventional technology which eases the dotage (the coulomb effect) by the above-mentioned Coulomb repulsion is learned. taking large aperture half size -- it extracts, and since the path of the electron ray in a position becomes large and the distance between electrons becomes large by this, the Coulomb repulsion in inverse proportion to the square of the distance between electrons becomes weaker. Therefore, dotage by the Coulomb repulsion becomes small. This situation is shown in drawing 6. In drawing 6, a horizontal axis shows aperture half size and a vertical axis shows the size of dotage.

[0008] However, if aperture half size is enlarged, since the geometric aberration by the lens for converging and deflecting an electron ray and deflecting system will increase, as shown in drawing 6, dotage by geometric aberration increases. Therefore, as for aperture half size, it is common that it is determined that the comprehensive dotage which consists of dotage by the aforementioned Coulomb repulsion and dotage by the aforementioned geometric aberration in drawing 6 will become the minimum.

[0009] Furthermore, there is the space charge effect as an effect which is not taken into consideration above. The space charge effect acts on each of the electron into which the electric field which the whole electron ray makes are flying, and means the effect which does the lens effect. the operation to which this space charge effect changes convergence of an electron ray like the electrostatic lens by the usual electrostatic field -- it is -- moreover, lens aberration, such as a curvature of field of an electron ray image, and distortion, and the same aberration -- causing -- the above -- the dotage by random dispersion causes aggravation of the resolution of an electron ray image independently

[0010] Moreover, since the amounts of current which pass a mask also in the same amount of lighting current by the difference in the pattern numerical aperture of a mask differ, the small field imprinted by the electron ray of a high current and the small field imprinted by the electron ray of few current change in a focal position with lens operations which change convergence of an electron ray.

[0011] This situation is shown in drawing 7. In drawing 7, 2 is an induction substrate and 10 is a lens. In the case of a small

current, as shown in (a), even when the focus is correct on the induction substrate 2 with the lens 10, in the case of a high current, as shown in (b), a focus does not suit on the induction substrate 2, therefore a certain amendment is needed. Since the small field which has various pattern numerical apertures on a mask substrate exists and the current of an electron ray differs for every numerical aperture, it is necessary to perform this amendment for every small field.

[0012] However, the range of a required focal amendment becomes large, therefore the range can be covered and it is necessary to design the possible focal amendment lens system of high-speed operation, so that lighting current turns into a high current. Furthermore, the aberration which the focal amendment lens system itself generates poses a problem, and the trouble that the big burden also in the electric control system for focal correcting-lens control starts is in an amendment sake quickly about the range, so that the amendment range spreads.

[0013]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] As explained above, the aperture half size of the electron ray used for electron-beam-lithography equipment is not made not much greatly in fact, in order to receive the limit by the geometric aberration of a lens or deflecting system. Therefore, the amount of current of an electron ray will be restricted. Therefore, in the Prior art, it was difficult in electron-beam-lithography equipment to reconcile obtaining a high throughput using the electron ray of a high current, and obtaining high resolution.

[0014] Realizing high throughput-ization in view of such a situation using the electron ray of a high current, this invention person invented the electron-beam-lithography equipment which can also realize high resolution-ization, and did patent application as Japanese Patent Application No. No. 111357 [ten to] (henceforth "point *****"). It is "electron-beam-lithography equipment which has the method of dividing the pattern on a mask into a small field, being electron-beam-lithography equipment imprinted on an induction substrate for every smallness field, and reducing the diameter of the minimum of dotage by the aberration of the space charge effect by restricting the angular distribution to the lens medial axis of the electron ray which carries out incidence to a mask side to the suitable range, and doubling an induction substrate front face with the position of the aforementioned diameter of the minimum." Thereby, the electron-beam-lithography equipment whose resolution is 100nm or less was realizable, using the electron ray of a high current.

[0015] The example of the gestalt of operation of point ***** is shown in drawing 1. drawing 1 -- setting -- 1 -- for a lens and 12, as for the aperture for narrow zona-orbicularis lighting, and 30, dispersion aperture and 13 are [a mask and 2 / an induction substrate and 10 / the source of an electron ray and 100] electron rays

[0016] 100 is restricted to below fixed more than fixed in aperture half size by the aperture 13 for zona-orbicularis lighting, after the electron ray emitted from the source 30 of an electron ray passes lens 10 system. And a mask 1 is illuminated and image formation of the image is carried out on the induction substrate 2. The middle, in order to remove the scattered radiation, the dispersion aperture 12 is formed.

[0017] The main point of point ***** is by the aperture 13 for zona-orbicularis lighting to have restricted aperture half size to below fixed more than fixed, and, thereby, the following effect is acquired so that it may turn out that drawing 1 is compared with drawing 5.

[0018] (1) As a result of using only the electron ray of the large portion of the aperture angular distribution of the electron ray irradiated by using the electron optics system for projection using narrow zona-orbicularis lighting comparatively, the average relative distance between the electrons in near a drawing side increases, and since the average Coulomb repulsion which joins arbitrary electrons becomes small, dotage by the Coulomb repulsion decreases as compared with the electron-beam-lithography equipment of the conventional technology.

[0019] (2) To the electron ray which carries out incidence to an induction substrate front face, since aperture half size does not exist but that of the electron ray near zero is only an electron with large aperture half size, the depressor effect of the space charge effect is remarkable. That is, first, a gap of the focal position which is a kind of the above-mentioned space charge effect becomes small intentionally as compared with the conventional technology, as shown in drawing 2 (a). That is, although drawing 2 (a) shows a gap of the focal position at the time of using the electron ray of the same amount of current as the case of drawing 7 (b), it shifted as compared with drawing 7 (b), and its amount has decreased. Since it becomes small by focal correcting-lens 10' amending the amendment range of a focal gap of an electron ray as shown in drawing 2 (b), this gap has the merit by which the design of a focal correcting-lens 10' system is simplified, and construction of the control system of focal amendment optical system is also simplified.

[0020] Furthermore, there is a merit by which the curve effect of the small field image surface by the above-mentioned space charge effect is suppressed. This situation is shown in drawing 3. drawing 3 does not show the degree of dotage by the space charge effect in the division fields 1-6 shown in (a) at the time of changing the position (height) of the induction substrate 2, and, in the case of the conventional technology in which it does not have the aperture 13 for zona-orbicularis lighting, (b) shows the case where (c) is point ***** which has the aperture 13 for zona-orbicularis lighting. In point ***** , since the position of the induction substrate 2 where dotage serves as the minimum about every division field 1-6 is located in near, dotage can be made small about all small fields by putting the induction substrate 2 on the position.

[0021] The curve effect of the small field image surface by the above-mentioned space charge effect is an effect which cannot be rectified by the usual image amendment method. The image surface position of the optimal resolving at the time of a high current changes in a small field with these effects, and aggravation of resolution is produced. Since the curve effect of the small field image surface by the above-mentioned space charge effect is suppressed also in the time of exposure by the electron ray of a high current by point ***** , the manufacture of electron-beam-lithography equipment with more high resolution with the sufficient homogeneity of the quality of the pattern image in a small field is attained.

[0022] There is a merit by which distortion of the small field image by the above-mentioned space charge effect is suppressed in point ***** further. By the usual image amendment method, an amendment may deform the distortion of the small field image by the above-mentioned space charge effect into a difficult configuration. Aggravation of the bond precision of the

pattern over between the contiguity less fields at the time of a high current arise according to this effect. Moreover, in the case of the circuit pattern formed in a multilayer, the superposition precision of the pattern between each class also gets worse. However, also in the time of exposure by the high current electron ray, since the distortion effect of the small field image by the above-mentioned space charge effect is suppressed by point *****, by it, supply of electron-beam-lithography equipment with more high resolution is attained.

[0023] this invention makes it a technical problem to offer the electron-beam-lithography equipment which can realize high resolution-ization (resolution of 90nm or less) certainly further, improving this point ***** and realizing high throughput-ization using the electron ray of a high current.

[0024]

[Means for Solving the Problem] The 1st means for solving the aforementioned technical problem divides the pattern on a mask into a small field. Are electron-beam-lithography equipment imprinted on an induction substrate for every smallness field, and the diameter of the minimum of dotage by the aberration of the space charge effect is reduced by restricting the angular distribution to the lens medial axis of the electron ray which carries out incidence to a mask side to the suitable range. And it sets to the electron-beam-lithography equipment which has the method of doubling an induction substrate front face with the position of the aforementioned diameter of the minimum. Minimum angle α_{\min} and maximum angle α_{\max} of an angle (aperture half size) distribution to the lens medial axis of the electron ray which carries out incidence to a mask side It is within the limits of 1.5 [mrad] to 3 [mrad]. And $|\alpha_{\max} - \alpha_{\min}| \leq 0.75$ [mrad] It is electron-beam-lithography equipment (claim 1) which has the electron ray lighting optical system characterized by being restricted so that a relation may be filled.

[0025] It sets to point ***** and this means is minimum angle α_{\min} . Maximum angle α_{\max} and $|\alpha_{\max} - \alpha_{\min}|$ Numerical limitation of the range is carried out. Minimum angle α_{\min} of the angular distribution to the lens medial axis of an electron ray The minimum value is limited to 1.5 [mrad] because achievement with a target resolution of 90nm will become difficult when the activity ratio of the electron ray for a core becomes high among the angular distribution of an electron ray, therefore the effect of zona-orbicularis lighting falls and dotage by the space charge effect increases if it becomes less than [this]. Moreover, minimum angle α_{\min} of the angular distribution to the lens medial axis of an electron ray It is because achievement with a target resolution of 90nm will become difficult since geometric aberration is large even if the geometric aberration of a projection lens system can suppress the coulomb effect by becoming large if limiting maximum to 3 [mrad] exceeds this value.

[0026] Maximum angle α_{\max} of the angular distribution to the lens medial axis of an electron ray The minimum value is limited to 1.5 [mrad] because achievement with a target resolution of 90nm will become difficult when the maximum of the angular distribution of an electron ray becomes small too much, the path of the electron ray near drawing becomes small and the coulomb effect dotage by random dispersion increases if it becomes less than [this]. Moreover, maximum angle α_{\max} of the angular distribution to the lens medial axis of an electron ray It is because achievement with a target resolution of 90nm will become difficult since geometric aberration is large even if the geometric aberration of a projection lens system can suppress the coulomb effect by becoming large if limiting maximum to 3 [mrad] exceeds this value.

[0027] $|\alpha_{\max} - \alpha_{\min}| \leq 0.75$ [mrad] It limits to below because the effect of zona-orbicularis lighting will fall, dotage by the space charge effect will increase by it and achievement with a target resolution of 90nm will become difficult, since the difference of the maximum angle of the angular distribution to the lens medial axis of an electron ray and the minimum angle becomes large too much and a zona-orbicularis lighting field becomes thick too much, if this value is exceeded.

[0028] By restricting each aforementioned item to the predetermined range, the coulomb effect and the space charge effect are reduced most effectively, and the geometric aberration by the lens and deflecting system can be suppressed as small.

[0029] The 2nd means for solving the aforementioned technical problem is the 1st means of the above. The current of the electron ray which carries out incidence to the aforementioned mask side is set to I [μA]. When setting to V [keV] acceleration voltage of the electron ray which sets distance of the aforementioned mask side and the aforementioned induction substrate to L [mm], and carries out incidence to the aforementioned mask side and making maximum of the aperture half size of the electron ray in respect of [induction substrate] the above into α_{\max} [mrad], Following $V \leq (\alpha_{\max})^2$ simultaneous-inequalities condition $A \leq L$ and $(I/4) \leq 40 - 2.5 - (\alpha_{\max} - 10)$ [nm] -- (1) $I \geq 70$ [μA] -- (2) $V \leq 200$ [keV] $L \geq 300$ [mm] -- It is electron-beam-lithography equipment (claim 2) which has electron ray projection equipment with which are satisfied of (3). However, A , a , b , c , and d are constants, are $61 \leq A \leq 81$, $1.2 \leq a \leq 1.4$, $0.6 \leq b \leq 0.85$, $1.3 \leq c \leq 1.6$, and $0.6 \leq d \leq 0.8$, and when setting the reduction scale factor of the aforementioned electron ray projection equipment to $1/m$, they are $\alpha_{\max} = m \cdot \alpha_{\max}$ here.

[0030] Among these, the electron-beam-lithography equipment which carrying out the current I of the electron ray which carries out incidence to a mask side to more than 70 [μA] makes the object of this invention is because it has restricted to what has the current value beyond this.

[0031] Moreover, although acceleration voltage V is desirable since dotage by the Coulomb repulsion becomes small so that it is high, if 200 [keV] is exceeded, since the sensitivity of the sensitization agent (called a resist) applied on the induction substrate will fall extremely and an induction substrate throughput will decline conversely, an upper limit is limited to 200 [keV].

[0032] Moreover, in the case of $L = 300$ mm or less, although the above-mentioned dotage becomes small so that it is short, since the current passed to the magnetic lens on which an electron ray is converged becomes large too much and the distance L between mask-induction substrates has the problem whose generation of heat is too large, it is not desirable. Therefore, L is limited to 300mm or more.

[0033] Furthermore, it sets for this α_{max} and is $V \text{Cand}(\alpha_{\text{wafer-max}}) A\text{-La and } (\frac{\text{mi}}{4}) b/\{d\} \leq 40\text{-}2.5\text{-}(\alpha_{\text{wafer-max}} - 10)$. [nm] -- It is made for (1) to be realized. The left part of a formula (1) expressed the amount of dotage by random dispersion by the Coulomb repulsion, and it has restricted it so that it may become below the right-hand side. Since the geometric aberration by the lens and deflecting system will increase if the maximum of aperture half size changes, in order to obtain an equivalent performance, the right-hand side opens and because only the increment needs to reduce dotage by the coulomb effect, it has become the function of maximum $\alpha_{\text{wafer-max}}$ of half size. By filling a formula (1), the amount of dotage by random dispersion by the Coulomb repulsion decreases to about 35-50nm depending on the value of $\alpha_{\text{wafer-max}}$.

[0034]

[Example] Hereafter, the example of the gestalt of operation of this invention is explained using drawing. In the example of the gestalt of operation of this invention, since the composition of equipment is the same as the gestalt of operation of point ***** shown in drawing 1, the explanation is omitted. Drawing 4 is maximum angle $\alpha_{\text{mask-max}}$ of the angular distribution to the lens medial axis of the electron ray which carries out incidence to a mask side. It is drawing showing the relation of dotage of an image. Each dashed line is related with the electron-beam-lithography equipment which has the aperture 11 of circular opening so that each solid line may be shown in the conventional technology, i.e., drawing 5, about this invention (and point *****) in drawing 4.

[0035] There is dotage by the space charge effect other than the coulomb effect dotage by random dispersion and dotage by geometric aberration in the factor of dotage. Total of these three dotage is shown as comprehensive dotage. Comprehensive dotage is $\alpha_{\text{mask-max}}$. It is the minimum when it is within the limits of 1.5 [mrad] to 3 [mrad]. In addition, it is considering as $\alpha_{\text{mask-min}}=0.8$ and $\alpha_{\text{mask-max}}$ at this time.

[0036] Next, it compared by manufacturing three kinds of examples of comparison with which nine kinds of examples and the conditions of this invention are not filled by the design condition which fulfills the conditions of this invention.

[0037] The conditions of each example and each example of comparison are shown below.

[an example 1] -- $L = 500$ [mm] and $I_{\text{lumi}} = 4 = 20$ [uA], $V = 100$ [keV], and $\alpha_{\text{wafer-min}} = 8$ [mrad] and $\alpha_{\text{wafer-max}} = 10$ [mrad] Electron-beam-lithography equipment with the electron optics system for mask image projection.

[an example 2] -- $L = 500$ [mm] and $I_{\text{lumi}} = 4 = 20$ [uA], $V = 100$ [keV], and $\alpha_{\text{wafer-min}} = 7$ [mrad] and $\alpha_{\text{wafer-max}} = 9$ [mrad] Electron-beam-lithography equipment with the electron optics system for mask image projection.

[an example 3] -- $L = 400$ [mm] and $I_{\text{lumi}} = 4 = 25$ [uA], $V = 100$ [keV], and $\alpha_{\text{wafer-min}} = 9.6$ [mrad] and $\alpha_{\text{wafer-max}} = 12$ [mrad] Electron-beam-lithography equipment with the electron optics system for mask image projection.

[0038] [an example 4] -- $L = 500$ [mm] and $I_{\text{lumi}} = 4 = 25$ [uA], $V = 100$ [keV], and $\alpha_{\text{wafer-min}} = 8$ [mrad] and $\alpha_{\text{wafer-max}} = 10$ [mrad] Electron-beam-lithography equipment with the electron optics system for mask image projection.

[an example 5] -- $L = 400$ [mm] and $I_{\text{lumi}} = 4 = 25$ [uA], $V = 100$ [keV], and $\alpha_{\text{wafer-min}} = 7$ [mrad] and $\alpha_{\text{wafer-max}} = 9$ [mrad] Electron-beam-lithography equipment with the electron optics system for mask image projection.

[an example 6] -- $L = 450$ [mm] and $I_{\text{lumi}} = 4 = 22.5$ [uA], $V = 100$ [keV], and $\alpha_{\text{wafer-min}} = 7$ [mrad] and $\alpha_{\text{wafer-max}} = 9$ [mrad] Electron-beam-lithography equipment with the electron optics system for mask image projection.

[0039] [an example 7] -- $L = 450$ [mm] and $I_{\text{lumi}} = 4 = 22.5$ [uA], $V = 100$ [keV], and $\alpha_{\text{wafer-min}} = 8$ [mrad] and $\alpha_{\text{wafer-max}} = 10$ [mrad] Electron-beam-lithography equipment with the electron optics system for mask image projection.

[an example 8] -- $L = 500$ [mm] and $I_{\text{lumi}} = 4 = 25$ [uA], $V = 120$ [keV], and $\alpha_{\text{wafer-min}} = 8$ [mrad] and $\alpha_{\text{wafer-max}} = 10$ [mrad] Electron-beam-lithography equipment with the electron optics system for mask image projection.

[an example 9] -- $L = 500$ [mm] and $I_{\text{lumi}} = 4 = 25$ [uA], $V = 100$ [keV], and $\alpha_{\text{wafer-min}} = 7$ [mrad] and $\alpha_{\text{wafer-max}} = 9$ [mrad] Electron-beam-lithography equipment with the electron optics system for mask image projection.

[0040] [the example 1 of comparison] -- $L = 600$ [mm] and $I_{\text{lumi}} = 4 = 25$ [uA], $V = 100$ [keV], and $\alpha_{\text{wafer-min}} = 0$ [mrad] and $\alpha_{\text{wafer-max}} = 6$ [mrad] Electron-beam-lithography equipment with the electron optics system for mask image projection.

[the example 2 of comparison] -- $L = 500$ [mm] and $I_{\text{lumi}} = 4 = 25$ [uA], $V = 100$ [keV], and $\alpha_{\text{wafer-min}} = 0$ [mrad] and $\alpha_{\text{wafer-max}} = 6$ [mrad] Electron-beam-lithography equipment with the electron optics system for mask image projection.

[the example 3 of comparison] -- $L = 500$ [mm] and $I_{\text{lumi}} = 4 = 25$ [uA], $V = 100$ [keV], and $\alpha_{\text{wafer-min}} = 4$ [mrad] and $\alpha_{\text{wafer-max}} = 6$ [mrad] Electron-beam-lithography equipment with the electron optics system for mask image projection.

[0041] The size on an induction substrate [that these examples and the example of comparison are called 1 time of electron-beam-lithography range (small field)] is the square of a range 200um angle to 300um angles, or a rectangle near it, and an imprint scale factor assumes the electron-beam-lithography equipment which is an about 0.25 reduction scale factor.

[0042] The examples 1 and 2 of comparison are the cases where the electron ray lighting system of the aperture half size out of range shown by this invention is used, although the example 3 of comparison used zona-orbicularis lighting about the

conventional technology. In addition, each example of comparison has the distance between the same amount of current as an example, and a mask-induction substrate side, acceleration voltage, etc.

[0043] It depended and faded to dispersion by the Coulomb repulsion in these cases in Table 1, it was based on the space charge effect and faded, and it was based on the synthetic coulomb effect, and faded (square root of the = aforementioned two sums of squares), and the focal gap (position of the minimum dotage side) was shown, respectively.

[0044] The comprehensive dotage by the coulomb effect is 65nm or less, and if dotage is estimated by the square root of the sum of squares even if all examples have lens aberration and 60nm of deflection errors in this, they are $\sqrt{65^2+60^2}/2 = 88\text{nm}$, and can be considered as the electron-beam-lithography equipment which can fully resolve 90nm to each current value of an example.

[0045] On the other hand, in the example of comparison, if it is going to imprint a mask pattern using current equivalent to this invention, as shown in Table 1, the comprehensive dotage by the coulomb effect will get worse sharply. If this is seasoned with about 60nm of the geometric aberration by the lens and deflecting system, resolution will exceed 90nm, therefore the electron-beam-lithography equipment of the target resolution will not be obtained.

[0046] In addition, in the example 3 of comparison, since zona-orbicularis aperture is prepared, the result better than the example 1 of comparison and the example 2 of comparison is obtained. However, since the maximum aperture half size is 6mrad(s), dotage by random dispersion does not become small, but moreover, since the zona orbicularis is as thick as 4-6mrad, suppression of the space charge effect comes out only, and, for a certain reason, the amount of dotage is large to the example of this invention.

[0047]

[Table 1]

	lilumi/4 (μA)	L (mm)	最大開き 半角(mrad)	最小開き 半角(mrad)	V (keV)	クーロン力による 散乱によるぼけ (nm)	空間電荷 効果 (nm)	総合クーロン効果 によるぼけ (nm)	最小ぼけ面 の位置(μm)
実施例1	20	500	10	8	100	40	10	50	10.7
実施例2	20	500	9	7	100	42	19	61	11
実施例3	25	400	12	9.6	100	32	11	43	7
実施例4	25	500	10	8	100	35	12	47	10
実施例5	25	400	9	7	100	35	15	50	11
実施例6	22.5	450	9	7	100	40	20	60	12.2
実施例7	22.5	450	10	8	100	40	15	55	10.2
実施例8	25	500	10	8	120	35	20	55	15
実施例9	25	500	9	7	100	45	20	65	13
比較例1	25	600	6	0	100	100	50	150	70
比較例2	25	500	6	0	100	79	40	119	63
比較例3	25	500	6	4	100	79	30	109	40

[0048]

[Effect of the Invention] The diameter of the minimum of dotage by the aberration of the space charge effect is reduced by restricting the angular distribution to the lens medial axis of the electron ray which carries out incidence to a mask side to the suitable range in this invention, as explained above. And it sets to the electron-beam-lithography equipment which has the method of doubling an induction substrate front face with the position of the aforementioned diameter of the minimum. Minimum angle alphamask-min of the angular distribution to the lens medial axis of the electron ray which carries out incidence to a mask side Maximum angle alphamask-max It is within the limits of 1.5 [mrad] to 3 [mrad]. And |alphamask-max - Since it is restricted so that the relation of alphamask-min| $\leq 0.75[\text{mrad}]$ may be filled Even if it uses the electron ray of a high current which exceeds 70 [μA], the amount of dotage by the coulomb effect or the space charge effect is small, and resolution can obtain electron-beam-lithography equipment 90nm or less.

[0049] In addition, resolution can be further raised by giving a predetermined relation between maximum alphawafer-max of the acceleration voltage V of the electron ray which carries out incidence to Distance L and the aforementioned mask side of the current lilumi of the electron ray which carries out incidence to the aforementioned mask side, the aforementioned mask side, and the aforementioned induction substrate, and the aperture half size of the electron ray in respect of [induction substrate] the above.

[Translation done.]